CANMET

RAPPORT ANNUEL 1987 - 1988 DU PROJET DE RECHERCHE CONJOINT CANADA-ONTARIO-INDUSTRIE SUR LES COUPS DE TOIT

SP88 - 22F

SP88-22F
Rapport annuel 1987-1988 du projet de recherche conjoint
Canada-Ontario-Industrie sur les coups de toit
Brehaut et Hedley
26 pages No. of copies printed: 236
Price: FREE
Cat. #M38-15/88-22F ISBN 0-662-95577-3
Dist. 100 Dr. Udd
25 Hedley
4 Editing
4 Catalogue
2 Library
1 Reports clerk
1 J. Caloz
1 J. Kanasy
98 Pub. sales
RELEASED: 30-AUG-89

RAPPORT ANNUEL 1987-1988 DU PROJET DE RECHERCHE CONJOINT CANADA-ONTARIO-INDUSTRIE SUR LES COUPS DE TOIT

C.H. Brehaut
Président
Comité de gestion

D.G.F. Hedley
Président
Comité technique

Parrainé par: Denison Mines Ltée
Falconbridge Ltée
Inco Ltée
Lac Minerals Ltée
Placer Dome Inc.
Rio Algom Ltée

Ministère du Travail de l'Ontario
Ministère du Développement du Nord et des Mines de l'Ontario

CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada

89-06201/

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1989

N° de cat. M38-15/88-22F

ISBN 0-662-95577-3

RAPPORT ANNUEL 1987-1988 DU PROJET DE RECHERCHE CONJOINT CANADA-ONTARIO-INDUSTRIE SUR LES COUPS DE TOIT

AVANT-PROPOS

Le troisième rapport annuel du Projet de recherche Canada-Ontario-Industrie sur les coups de toit présente les progrès importants qui ont été accomplis dans la cueillette des renseignements nécessaires à la conception de méthodes d'exploitation minière qui soient plus sûres et plus économiques dans les zones vulnérables aux coups de toit.

La première étape du projet qui consiste à concevoir, fabriquer et installer de nouveaux équipements de surveillance sismique est presque terminée et la deuxième étape d'analyse des formes d'onde sismiques afin de déterminer les mécanismes des coups de toit et les paramètres des sources est amorcée. De plus, des essais sur place pour vérifier les nouveaux concepts et techniques ont été entrepris dans la plupart des mines participant au projet.

À mesure de l'avancement des travaux dans chacune des zones, de nombreuses données scientifiques sont recueillies et publiées au moment opportun comme en fait foi la liste des publications disponibles, incluse dans le présent rapport. C'est grâce aux efforts déployés par David Hedley et son comité technique du Projet sur les coups de toit et par le personnel nombreux des principales sociétés participant au projet que des progrès importants ont été accomplis à ce jour.

C.H. Brehaut
Président
Comité de gestion

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS i
INTRODUCTION 1
ACTIVITÉS DE RECHERCHE 2
MINES DE RED LAKE 2
MINES D'ELLIOT LAKE 3
Mines de la Rio Algom 3
Mine Denison 7
MINES DE SUDBURY 8
Mines de la Falconbridge 10
Mines de l'Inco 11
MINES DE KIRKLAND LAKE 13
ÉTUDES DE BASE 15
REMERCIEMENTS 17
PUBLICATIONS 18
ANNEXE A– Comité de gestion du Projet sur les coups de toit 23
ANNEXE B– Comité technique du Projet sur les coups de toit 23
ANNEXE C– Le personnel d'Énergie, Mines et Ressources participant au projet 24
ANNEXE D– Équipement et services acquis en 1987–1988 24

INTRODUCTION

L'année 1987–1988 correspond à la troisième année du Projet de recherche conjoint Canada–Ontario–Industrie sur les coups de toit. Le bien–fondé et les objectifs n'ont pas changé soit, mettre au point un nouveau système de surveillance sismique capable de détecter des formes d'ondes complètes. Ensuite, étudier les causes et les mécanismes des coups de toit au moyen de techniques améliorées de localisation des sources et analyse des mouvements premiers, de la vitesse maximale des particules, de l'énergie sismique libérée par les coups de toit et de leur fréquence spectrale. Ces techniques seront ensuite combinées à des essais sur le terrain, à des mesures prises sur place et à des modèles informatiques pour évaluer des méthodes d'élimination des coups de toit et (ou) de limitation de leurs dommages.

La première étape est presque terminée depuis l'installation de systèmes pour formes d'ondes macrosismiques autour des mines Quirke et Strathcona. Des systèmes supplémentaires seront bientôt installés autour des mines Creighton, Campbell et Macassa. La deuxième étape d'analyse des données sur les formes d'ondes pour la détermination de la cause et du mécanisme des coups de toit a été amorcée.

Les coups de toit en pilier, dans le gisement lui–même, sont surtout observés dans les gisements tabulaires de Red Lake, d'Elliot Lake et de Kirkland Lake. Nombre des événements sismiques les plus importants survenus dans les mines de Sudbury semblent être attribuables à un rejet de faille dans les roches encaissantes du gisement.

Événements sismiques de magnitude 2,0 ou plus dans les mines de l'Ontario entre 1984 et 1987

District minier	1984	1985	1986	1987
Red Lake	18	3	6	0
Elliot Lake	46	74	13	8
Sudbury	15	20	35	31
Kirkland Lake	5	2	3	3
Total	84	99	57	42

Au cours des quatre dernières années, 282 événements sismiques de magnitude 2,0 ou plus ont été enregistrés par le Réseau sismique de l'est du Canada, exploité par la Division de géophysique de la Commission géologique du Canada. Ces deux et trois dernières années, le nombre d'événements, à Elliot Lake et à Red Lake, respectivement, ont diminué sensiblement. À Sudbury, ils ont augmenté entre 1984 et1986, et sont demeurés relativement constants en 1987. À Kirkland Lake, il ne se produit en général que quelques événements par année seulement.

La gestion et le financement du Projet sur les coups de toit, sur une période de cinq ans, reposent sur une base tripartite. Le gouvernement du Canada, par l'intermédiaire du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie,(CANMET), prête les services de certains membres de son personnel pour exploiter le projet. Le gouvernement de l'Ontario, par l'intermédiaire du ministère du

Développement du Nord et des Mines, et le ministère du Travail assurent le financement de l'équipement et des services. L'industrie minière de l'Ontario, par l'intermédiaire de la Denison Mines Ltée, la Falconbridge Ltée, l'Inco Ltée, Lac Minerals Ltée, Placer Dome Inc., et la Rio Algom Ltée., prête les systèmes microsismiques qu'elle possède déjà, participe à l'installation et à l'exploitation de nouveaux équipements et fournit les données sur les coups de toit, recueillies dans les mines de ces sociétés.

Le projet est supervisé par un Comité de gestion, composé de représentants de trois organismes parrains et présidé par C.H. Brehaut, premier vice-président de Placer Dome Inc. Un comité de gestion, présidé par D.F. Hedley de CANMET, analyse et approuve les plans de recherche. En 1987-1988, les réunions trimestrielles du Comité technique ont eu lieu à Ottawa, Montréal, Copper Cliff et Toronto. La liste des membres des deux comités est présentée en annexe.

ACTIVITÉS DE RECHERCHE

Les travaux de recherche effectués par CANMET et les sociétés minières ainsi que les plans de recherche pour 1988-1989 sont analysés dans les sections suivantes.

MINES DE RED LAKE

À Red Lake, les travaux de recherche ont pour objectif de mettre au point des techniques permettant la récupération sûre et efficace des piliers de surface dans des gisements étroits et à fort pendage exploités par tranches montantes remblayées et par mines longues avec résidus cimentés.

L'installation de la station sismographique à Red Lake aura lieu en mai 1987 à l'ancienne mine Madsen, à environ 16 km des mines Campbell et Dickenson. Des séismes naturels ont été enregistrés mais aucune onde sismique produite par l'exploitation minière ne l'a été. De plus, au cours de la même période, le système microsismique de la mine Campbell n'a enregistré aucun événement sismique important.

En 1987, pour améliorer le système microsismique de la mine Campbell, on a augmenté le nombre des canaux à 64, avec accéléromètres. Dans le cadre du Projet sur les coups de toit, on a fait l'acquisition d'un enregistreur des formes d'ondes à 16 canaux. En attendant la livraison du géophone triaxial, cet enregistreur a été relié au système microsismique et a fourni des renseignements sur les temps de parcours des premières ondes enregistrées.

L'exploitation en gradins avec remblayage est la principale méthode d'abattage utilisée dans les terrains de la mine Campbell sujets aux coups de toit. Des coups de déformation locale se produisent fréquemment à moins de 1 à 3 m au-dessus du toit. Le sautage périmétrique arqué est utilisé pour éliminer ce problème. Lorsque la largeur des chambres est supérieure à 3 m, on installe, en plus des boulons d'ancrage habituels, des boulons Swellex de 5 m de longueur afin de préboulonner le prochain niveau. Des essais ont aussi été réalisés avec des boulons Swellex, un treillis métallique et des câbles d'acier selon un procédé de laçage. Dans ce cas, le câble d'acier est placé le long du boulon Swellex, dans le trou, et ancré au cours de la même opération.

Il ressort d'une analyse rétrospective des coups de toit en piliers que l'épaisseur critique des piliers pour l'exploitation au-dessus du niveau 20 (1 000 m) est de 6 m environ et que cette épaisseur augmente en fonction de la profondeur. On recourt aux tranches montantes remblayées lorsque l'épaisseur du pilier de surface est de 10 à 13 m. Un schéma d'exploitation par piliers est alors mis au

point pour récupérer le reste du minerai, soit par longues tailles, soit par tranches descendantes sous remblais. La relaxation des contraintes dans les piliers a donné des résultats efficaces à la mine Campbell.

Plans de recherche 1988-1989

a) Installation à la mine Campbell de cinq géophones triaxiaux reliés à un enregistreur de formes d'onde Gould et à un ordinateur. Ce système est conçu pour enregistrer les formes d'ondes complètes des événements sismiques importants.

b) Réalisation d'essais sur le terrain pour déterminer la réponse de divers types de systèmes de soutènement à des charges de choc. Le premier essai consistera à comparer les vitesses maximales des particules de divers soutènements, causées par des charges explosives tirées à des distances fixes. Le second essai consistera à soutenir des sections d'un chantier avec deux ou trois systèmes de soutènement et à soumettre le chantier à des charges explosives confinées. Ces essais seront également réalisés dans le cadre du programme de la Direction de la recherche minière.

MINES D'ELLIOT LAKE

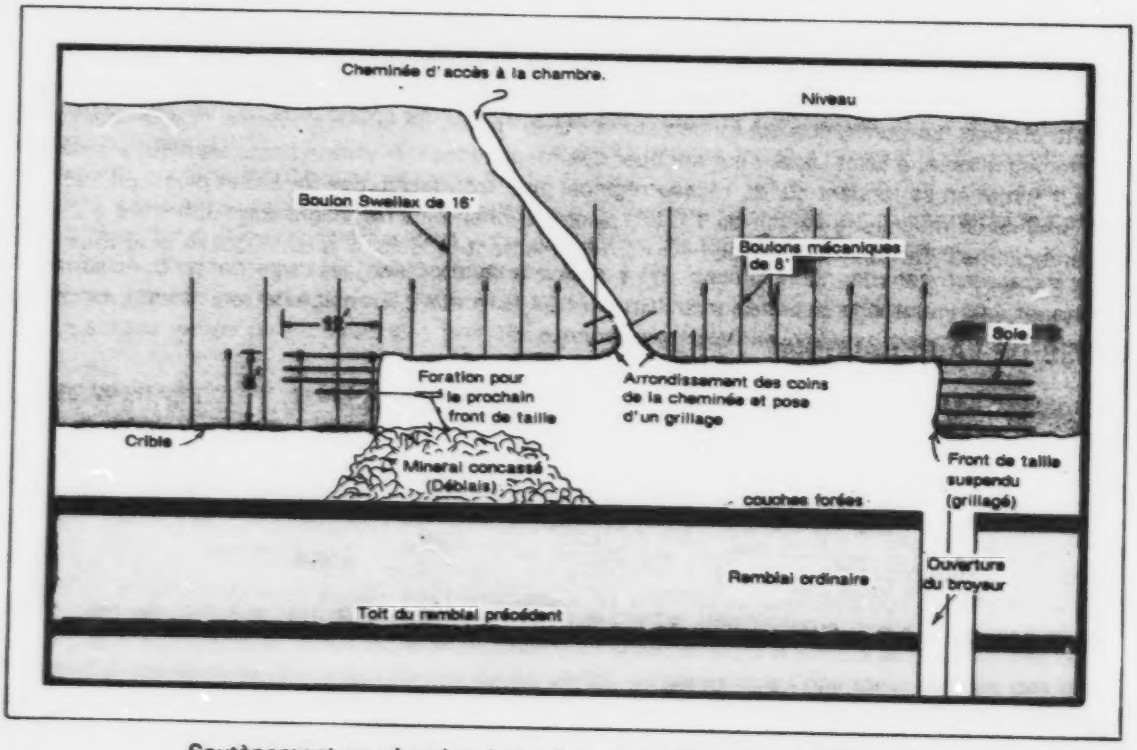
Les travaux de recherche à Elliot Lake ont pour objectif d'établir si le toit s'effondre au-dessus de la zone des coups de toit à la mine Quirke et de surveiller la distribution de l'activité sismique dans les deux mines Quirke et Denison. À noter aussi la recherche effectuée à contrat par la Denison Mines Ltée sur l'utilisation de remblais pour empêcher la rupture violente des piliers.

En 1987, la station sismographique d'Elliot Lake a été étalonnée sur le Réseau sismique de l'est du Canada, exploitée par la Division de géophysique de la Commission géologique du Canada. Pour ce faire, 31 événements sismiques de magnitude connue, enregistrés dans les mines Quirke et Denison, ont été utilisés. La corrélation est fondée sur la durée (coda) du signal sismique. Cette relation est maintenant utilisée, à Elliot Lake, pour attribuer des magnitudes aux événements sismiques variant de 1,0 à 1,9 tout en se fondant sur le réseau régional pour les magnitudes de 2,0 et plus. En 1987, 46 événements de magnitude variant de 1,0 et 1,9 et 8 événements de magnitude supérieure à 2,0 ont été enregistrés. Environ 70 % de ces événements se sont produits à la mine Quirke et le reste à la mine Denison.

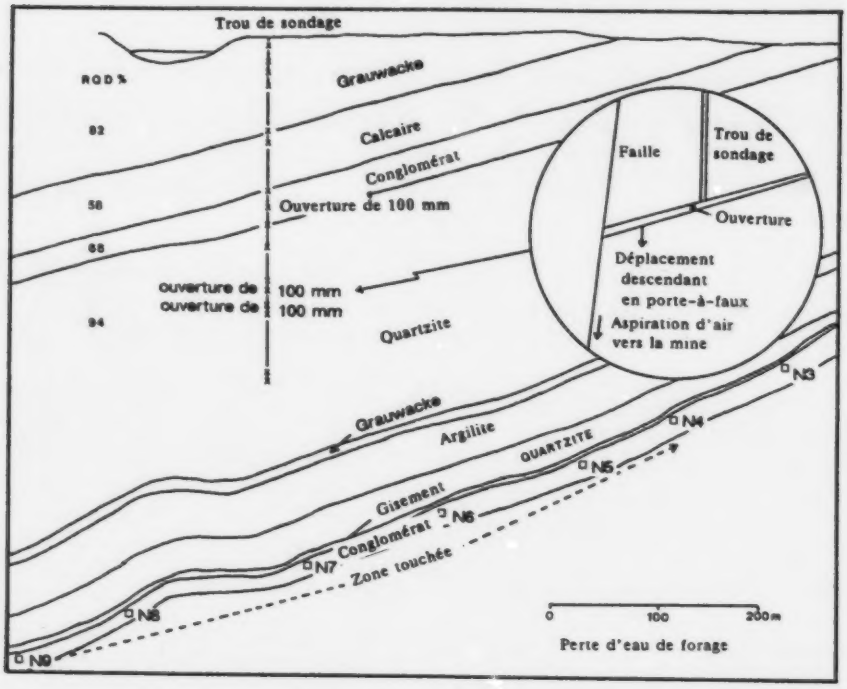
MINES DE LA RIO ALGOM

En 1984 et 1985, c'est dans la mine Quirke de la Rio Algom que le plus grand nombre d'événements sismiques ont été enregistrés en Ontario. La zone de rupture des piliers s'étendait sur 1 100 m en direction horizontale et sur 600 m en pendage. Comme le toit n'a plus été en mesure de supporter la zone touchée, la fracturation a atteint la surface. Par conséquent, l'activité sismique a diminué considérablement et elle n'a plus augmenté de façon importante dans la zone touchée. En 1987, le système microsismique de la mine n'a enregistré en moyenne qu'un événement par jour comparativement à plus de 100 événements par jour en septembre 1984. Seuls deux événements de magnitude supérieure à 2,0 ont été enregistrés.

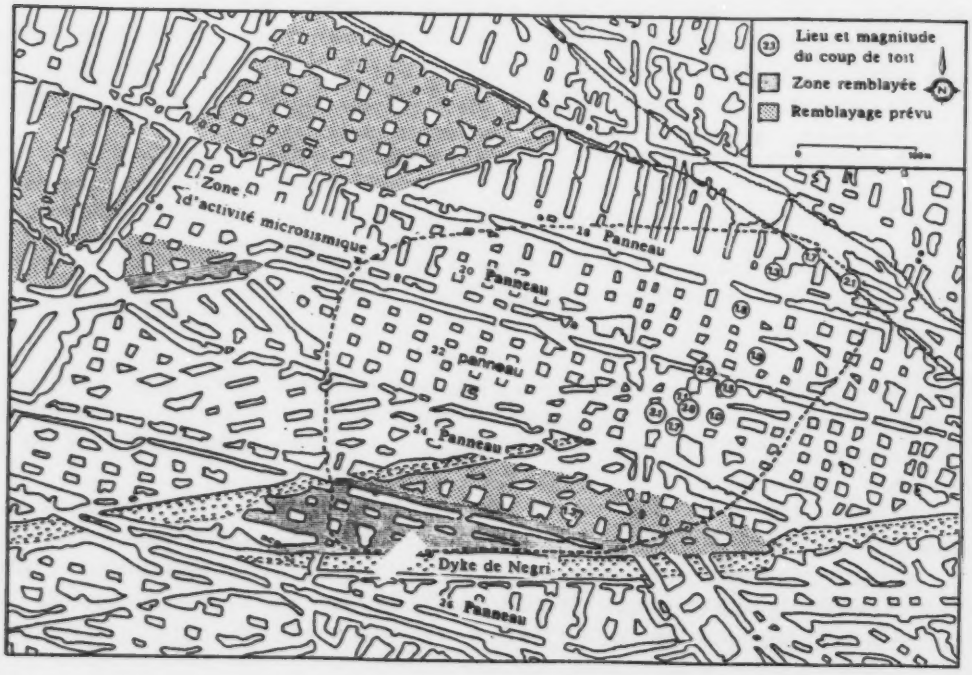
Installation d'essai de boulons Swellex avec câbles d'acier à la mine Campbell, à Red Lake.



Soutènement en chambre large à la mine Campbell, à Red Lake.



Coupe de la zone de coups de toit à la mine Quirke montrant les fractures ouvertes dans le toit et le mécanisme possible de déplacement.



Plan de la mine Denison dans la zone du Dyke de Negri, montrant l'emplacement des événements sismiques importants et la zone d'activité microsismique.
Le remblayage vise à limiter la zone touchée.

Il est intéressant d'analyser la façon dont le toit s'est fracturé : soit par éboulement ou déplacement le long des principaux plans structuraux ou par fracturation plus générale du massif rocheux. Un forage d'essai au diamant exécuté en 1986 avait indiqué un glissement latéral le long des contacts des plans de stratification.

En février 1988, un nouveau trou de forage au diamant a été exécuté directement au-dessus du centre de la zone touchée, à partir de la surface. Le trou a atteint une profondeur de 317 m, environ 170 m au-dessus du gisement, avant d'être abandonné à cause de problèmes de perte d'eau.

Deux types de fractures ouvertes ont été observées. À une profondeur de 150 m, une perte d'eau de circulation s'est produite à 8 endroits, là où se trouvaient de petites fractures ouvertes entre des contacts de stratification. À une profondeur de 155 m, on a observé une ouverture de 100 mm de largeur. De plus, l'aspiration d'air vers le fond du trou était suffisamment puissante pour produire un "hurlement". On a pu ainsi établir la présence d'une fracture verticale ouverte entre les chantiers et les couches des 355 m sus-jacents. Des ouvertures semblables de 100 mm et de150 mm ont été repérées à des profondeurs de 234 m et de 255 m ainsi que 6 fractures mineures.

Il est postulé que l'éboulement est limité aux premiers mètres du toit. Dans les 350 m suivants, de très grandes plaques descendent le long de failles verticales en porte-à-faux. Les 150 m supérieurs s'affaissent sans formation de fractures verticales importantes.

En mars 1987, le système macrosismique, mis au point à contrat par le Centre de recherches Noranda, a été installé en surface au-dessus de la zone de coups de toit de la mine Quirke. Au cours de l'été 1987, tous les accéléromètres triaxiaux ont été détruits par la foudre. Ils ont été remplacés par des vélocimètres triaxiaux mieux protégés contre la foudre. Environ 30 événements sismiques dans les mines Quirke et Denison ont été enregistrés avec ce système. Les données sur les formes d'onde ont été analysées pour obtenir la vitesse maximale des particules, l'énergie sismique libérée, les moments sismiques produits et les paramètres des sources.

MINE DENISON

Deux zones de la mine Denison sont sismiquement actives : une zone directement en aval-pendage de la zone principale des coups de toit dans la mine Quirke, et une zone au nord du Dyke de Negri, à environ 2 km vers l'est.

La zone limite des piliers dans la mine Quirke a été considérablement remblayée avec des résidus déschlammés et des scories cimenteuses dans un rapport de 30 à 1. Pendant l'année précédente, toutes les activités sismiques se sont produites en bordure de la zone remblayée, ce qui confirme l'effet stabilisant des remblais.

La récupération des piliers de paroi entre les chantiers remblayés est actuellement effectuée en aval-pendage de la zone de piliers périmétriques. Cette récupération de piliers a causé une certaine activité sismique, en particulier au cours des derniers abattages. La mine Denison, en collaboration avec le département des mines de l'université Queen's, mesure actuellement les contraintes dans les piliers et surveille les émissions ultrasoniques dans cette zone.

La zone située au nord du Dyke de Negri a été exploitée au milieu des années 1970 par la méthode des chambres et piliers. Le premier coup de toit enregistré a eu lieu en septembre 1984. On a

observé une détérioration des piliers de panneaux minces. Cette détérioration des piliers s'est par la suite intensifiée et propagée. On a de plus observé des ruptures de boulons, des fissures dans le sol mesurant jusqu'à 5 cm de largeur, des soulèvements dans le sol et d'occasionnelles chutes de roches du toit. L'un des phénomènes intéressants est le glissement apparent du toit dans une direction amont-pendage par rapport au mur.

À la fin d'octobre 1987, la zone est devenue sismiquement active. Pendant une période de deux mois, 10 événements microsismiques par jour en moyenne ont été enregistrés dont 13 ont été enregistrés par le sismographe d'Elliot Lake, le plus important ayant atteint une magnitude de 2,8.

Les modèles informatiques de la zone touchée visant à évaluer les contraintes dans les piliers et le transfert de contraintes ont indiqué des ruptures possibles de piliers. Compte tenu de la stabilisation réussie des piliers par remblayage dans la zone des piliers périmétriques, c'est cette méthode qui a été mise en oeuvre. En janvier 1987, a commencé le remblayage avec des scories, directement en amont-pendage du Dyke de Negri. De plus, un système microsismique à 32 canaux a été installé autour de cette zone. Ce système a grandement facilité la localisation des sources sismiques et la détermination des tendances à l'expansion des zones sismiques.

La zone touchée, mesurant environ 300 m de diamètre, est limitée au sud par le Dyke de Negri et au nord-est par un pilier relativement large dans une zone faillée. On a commencé à remblayer les chambres de la mine situées dans le nord-ouest de la zone afin de remblayer un corridor d'environ 120 m de largeur.

Plans de recherche 1988-1989

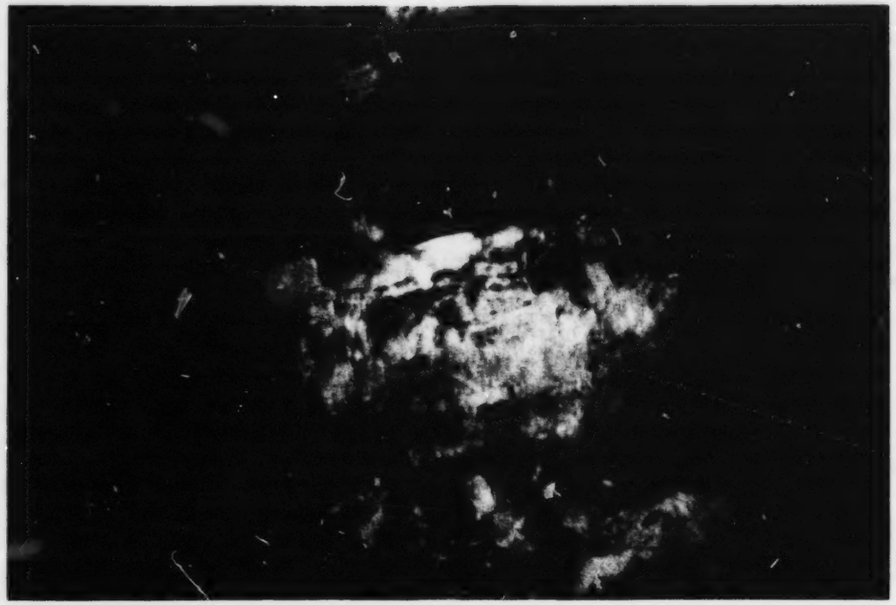
a) Continuer à surveiller l'activité sismique au moyen du réseau macrosismique installé au-dessus de la mine Quirke. Au moyen de techniques d'analyse des formes d'onde, déterminer le mécanisme et les caractéristiques d'atténuation de ces événements.

b) Surveiller l'activité sismique dans la zone du Dyke de Negri dans la mine Denison et l'effet du remblayage sur les zones d'activité sismique. Le département des mines de l'université Queen's analyse actuellement la valeur des ultrasons comme méthode de détermination des contraintes dans les piliers et la possibilité d'utiliser les ultrasons pour prévenir les coups de toit.

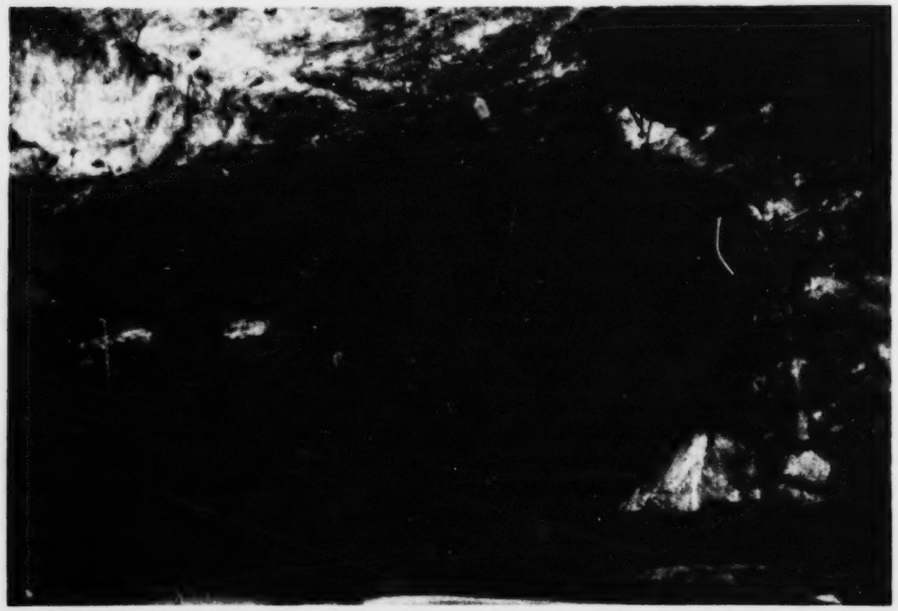
MINES DE SUDBURY

À Sudbury, les travaux de recherche ont pour objectif de déterminer les causes et les mécanismes des coups de toit, au moyen de techniques d'analyse des formes d'onde, et d'évaluer des méthodes pour diminuer et (ou) limiter les dommages qu'ils pourraient causer.

La troisième station sismographique a été installée en mai 1987 en bordure nord du bassin de Sudbury. Un système de liaison directe de données relie Science North (Sudbury) à Ottawa, pour une transmission continue des données sismiques. Une personne a été engagée pour exploiter ce réseau, à l'extérieur de la Division de géophysique de la Commission géologique du Canada.



Pilier de panneau dans la mine Denison. Le toit semble s'être déplacé en amont-pendage par rapport au mur.



Stabilisation de piliers par un remblai dans la zone du Dyke de Negri dans la mine Denison.

Environ 250 événements par mois ont été enregistrés dans le bassin de Sudbury par ce réseau, dont 84 % ont été causés par des sautages. Le reste des événements sont produits par les travaux d'exploitation minière, mais la moitié seulement de ces événements peuvent être relevés par les systèmes microsismiques installés dans chacune des mines. L'évaluation préliminaire des mouvements premiers, pour certains événements sismiques très importants, a été réalisée en utilisant le réseau de Sudbury et d'autres stations du Réseau sismique de l'est du Canada. Dans un cas particulier, le mouvement premier correspondait à la formation d'une faille de chariage provoquée par des contraintes de compression est-ouest.

Mines de la Falconbridge

En 1987, on prévoyait réaliser une étude complète des coups de toit dus à des glissements de faille, survenus en 1984, dans le puits n° 5 de la Falconbridge. Cependant, la fermeture imminente de la East Mine adjacente (accès par le puits n° 5) ainsi qu'une "surimpression" importante de glissements ultérieurs sur les failles d'origine ont incité à abandonner ce projet.

À la mine Lockerby, l'activité sismique, incluant trois coups de toit, s'est intensifiée sensiblement au début de 1988. Cette activité s'est concentrée dans les granites de la paroi nord, près d'une cheminée à minerai. Peu de dommages ont été causés à l'ouvrage de laçage existant. Cette cheminée à minerai a été la source d'activités sismiques au cours des dernières années et son diamètre s'est élargi, par endroits, d'environ 16 m.

L'activité microsismique associée à l'abattage par mines longues dans la mine Strathcona a été surveillée par le Département des sciences géologiques de l'université Queen's. On a eu pour ce faire recours à un système d'imagerie géotomographique et à des systèmes microsismiques pour formes d'onde complètes. On a observé un accroissement d'activité pendant une période d'environ 24 heures après chaque sautage et l'activité s'est intensifiée à mesure que progressait l'exploitation. Les hypocentres se sont regroupés en général au-dessus de la galerie dans le gneiss du mur, plutôt que le long des structures prédominantes du voisinage. Les données sur les mouvements premiers ont révélé que les événements enregistrés ont été produits par une rupture de cisaillement à la source.

C'est en 1987 que le système macrosismique a été installé autour de la mine Strathcona. Trois des capteurs triaxiaux sont situés à la surface tandis que les autres sont situés aux niveaux 2 375 et 2 750. Les données sismiques sont stockées dans un ordinateur placé à la surface et transférées, par modem, au laboratoire d'Elliot Lake de CANMET pour y être analysées. Ce système est conçu pour n'enregistrer que les événements sismiques importants de magnitude d'au moins 1,0. À ce jour,12 événements ont été enregistrés. L'analyse préliminaire indique un mécanisme de glissement.

Les coups de toit associés à des piliers de sole au cours de l'exploitation de veines étroites dans la zone de cuivre de Strathcona ont été analysés au moyen de modèles numériques. Plusieurs coups de toit importants (Mn > 2,5) semblent correspondre à des contraintes en piliers variant de 135 à 165 MPa. Tel que l'indique l'activité microsismique, un nombre accru d'événements ont été causés par ces contraintes de niveaux prévus. À des contraintes supérieures à 165 MPa, les piliers semblent subir une perte de charge, ce qui laisse supposer que la diminution ultérieure de l'activité microsismique est une indication d'un état de rupture. C'est ainsi que le besoin d'élaborer des modèles d'après-rupture durant les dernières étapes d'extraction de l'exploitation minière (c.-à-d. après 85 % de l'extraction) s'est manifesté.

Depuis que l'on a établi que le mécanisme à l'origine des coups de toit dans les mines de la Falconbridge était principalement causé par des glissements de faille, on a entrepris une étude préliminaire de glissements induits "contrôlés" en injectant un fluide sous pression. Compte tenu de la modélisation numérique de l'extraction de piliers de sole dans la mine Strathcona ainsi que des structures proéminentes, il existe un avantage théorique possible à l'application de cette technique : les régimes de contraintes peuvent être modifiés considérablement par des pressions de l'ordre de 20 MPa sur un rayon de 100 m. La faisabilité de l'injection d'un fluide sera analysée.

Mines de l'Inco

En 1987, quatre systèmes microsismiques ont été exploités dans les mines de l'Inco (Creighton, Copper Cliff North, Garson et Stobie).

La mine Creighton est la mine la plus sismiquement active. En 1987, 14 événements d'au moins 2,0 de magnitude y ont été enregistrés. Au cours des dernières années, la zone d'activité sismique s'est progressivement déplacée à de plus grandes profondeurs suivant l'exploitation minière actuelle. Il est de plus en plus clair que les événements importants se produisent le plus souvent sur des surfaces de structures géologiques telles que des zones de cisaillement et des dykes, et plus souvent qu'autrement, dans des roches de paroi. L'événement le plus important enregistré en 1987 a atteint une magnitude de 3,6 à quelques 15 m dans le mur, sur une zone de cisaillement important.

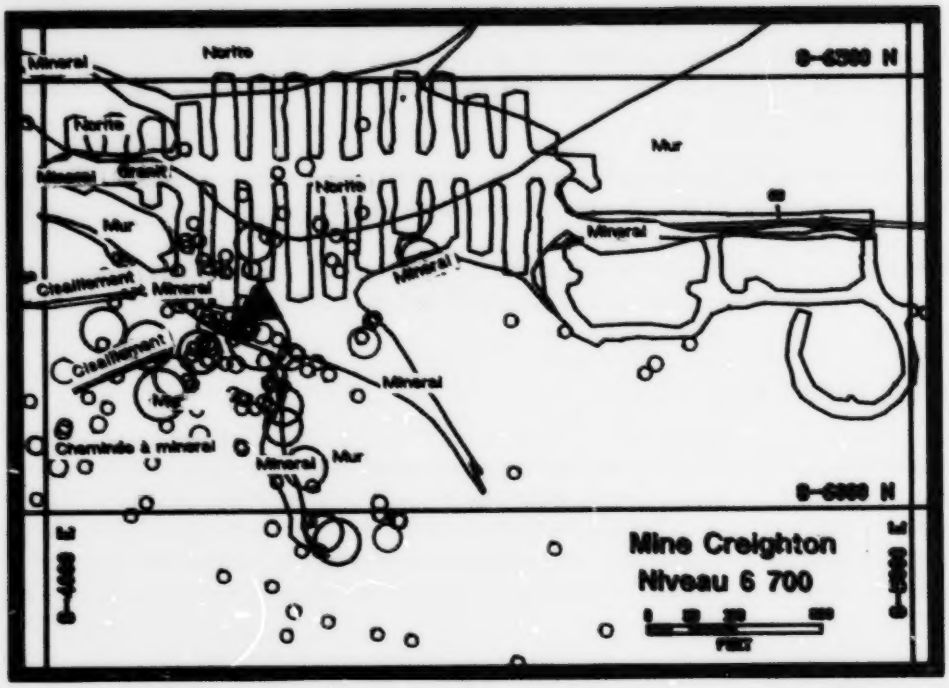
L'activité sismique s'étant accrue en profondeur, on a installé un système microsismique dense entre les niveaux 6 600 et 7 200 et, au sein du système microsismique existant. Les fonds nécessaires à l'implantation de ce réseau proviennent de l'Inco et du Projet sur les coups de toit. De plus, on installera dans la même zone, mais à une plus grande distance (c.-à-d. de 500 à 1 000 m) du gisement, le système macrosismique à cinq stations. Ce système qui a été conçu et dont les composantes ont été commandées en 1987 sera mis en place en 1988-1989.

À la mine Copper Cliff North, onze événements de magnitude d'au moins 2,0 ont été enregistrés en 1987. Ces événements ont eu tendance à se produire par groupes, en particulier au début de septembre 1987 et en décembre 1987. En général, l'activité sismique est associée à une exploitation verticale rabattante entre les niveaux 3 400 et 3 600. De plus, à la mine Copper Cliff North, on a eu recours au laçage pour soutenir les ouvertures produites par les coups de toit. Ce soutènement est un grillage soudé maintenu contre la roche avec des boulons à ancrage réparti de 2 m de longueur. Le câble d'acier formant un carré est tendu contre le grillage en y enfonçant un court boulon à ancrage réparti de 45 cm de longueur à l'intérieur d'un boulon à ancrage réparti plus long.

Plans de recherche 1988-1989

a) Continuer à exploiter le réseau sismographique du bassin de Sudbury, pour déterminer principalement la magnitude et l'emplacement des événements. Utiliser en outre les données et le système macrosismique pour évaluer les mécanismes de déclenchement des événements.

b) Poursuivre la surveillance de l'activité sismique en utilisant les systèmes macrosismiques installés autour de la mine Strathcona, et analyser les formes d'onde.



Représentation de l'activité sismique autour du niveau 6 700 de la mine Creighton survenue le 27 octobre 1987, avec indication des événements associés à des structures. Le triangle indique l'endroit où a eu lieu l'événement de magnitude 3,6 et les cercles de diverses dimensions indiquent la magnitude relative des événements associés.

Soutènement par laçage d'une galerie préparatoire à la mine Copper Cliff North. Les câbles d'acier sont ancrés en enfonçant un court boulon à ancrage réparti dans le boulon d'origine plus long.

c) Le département des sciences géologiques de l'université Queen's réalise actuellement des études tomographiques à la mine Strathcona et enregistre les formes d'ondes tridimensionnelles de petits événements sismiques.

d) Installer le système macrosismique autour de la mine Creighton en profondeur. Comme il s'agit d'un nouveau système, il faudra corriger les erreurs et l'étalonner.

e) Installer à la mine Creighton un réseau dense de géophones autour des fentes de relaxation dans les piliers de surface des galeries des niveaux 6 800 et 7 000. Ces travaux seront réalisés par l'Inco Ltée.

MINES DE KIRKLAND LAKE

Les travaux de recherche à Kirkland Lake ont pour objectif de mettre au point des techniques permettant de récupérer de façon sûre et efficace les piliers de surface dans des gisements étroits et à fort pendage par la méthode des chambres remblayées avec des stériles et de la roche de remblai cimentée. Ils complètent la recherche menée dans les mines de Red Lake, sauf que le matériau de remblayage est différent et que les chantiers d'exploitation se trouvent à une plus grande profondeur (jusqu'à 2 200 m).

La station sismographique à Kirkland Lake a été installée en juin 1987, près de l'aéroport, à quelque 12 km de la mine Macassa. Cependant, il faut prévoir un an pour brancher la mine à la ligne téléphonique spécialisée.

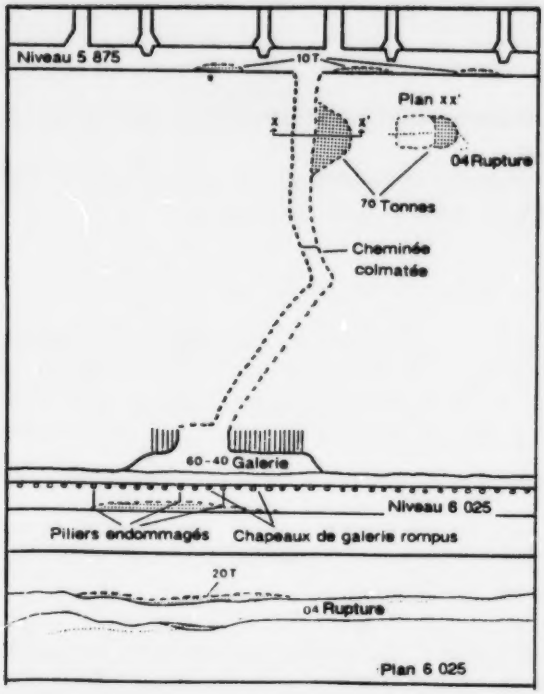
En 1987, on a installé à la mine Macassa un système microsismique qui peut comporter jusqu'à 48 canaux. Ce système couvre la zone située entre les niveaux 4 750 et 6 450, à l'extrémité ouest de la mine autour du nouveau puits n° 3. L'une de ses principales fonctions est de surveiller toute activité sismique dans le pilier de puits.

Sur une période de 6 jours, en avril 1987, cinq coups de toit ont été enregistrés à la mine Macassa. La plupart d'entre eux étaient localisés dans les piliers entourant le lieu d'un précédent tir de relaxation et des dommages importants ont été signalés. En 1987, on a utilisé pour la première fois du remblai cimenté (5 % de ciment), dans des galeries choisies d'abord et, par la suite, dans la majorité des galeries exploitées. Il ressort que les principaux avantages du remblai cimenté sont de limiter la convergence des parois et d'atténuer la magnitude d'un coup de toit qui, à son tour, réduit la charge dynamique et les dommages causés au soutènement. La restauration complète des piles soutenant des remblais antérieurement non consolidés est éliminée. De plus, le recours à des remblais cimentés a permis de mettre en oeuvre de nouvelles méthodes d'exploitation telles que l'abattage par tranches descendantes sous remblais et une méthode par longues tailles de type Avoca, modifiée pour récupérer les piliers de surface sujets aux coups de toit.

Plans de recherche 1988-1989

a) Relier le sismographe installé à Kirkland Lake à la mine Macassa avec une ligne téléphonique spécialisée.

b) Installer cinq géophones triaxiaux à la mine Macassa, reliés à un enregistreur de formes d'onde Gould et à un ordinateur. Ce système est conçu pour enregistrer les formes d'ondes complètes des événements sismiques importants.



Dommage causé par un coup de toit de magnitude 2,2 pendant les premières étapes d'exploitation en galeries, à la mine Macassa.

Effets d'un coup de toit de magnitude 2,5 dans un pilier de stériles dans le niveau 5 600 de la mine Macassa. Plus de 400 tonnes de roches ont été déplacées et la galerie a été fermée sur une distance de 15 m. Nota : Le grillage et les boulons mécaniques de 2,4 m ont tenu.

c) Étalonner la vitesse sismique en utilisant un enregistreur de formes d'onde.

d) Installer des cellules de pression en remblai et des appareils de mesure de la convergence pour déterminer les propriétés du remblai cimenté.

ÉTUDES DE BASE

Ces études ont pour objectif de donner un aperçu des coups de toit dans les mines de l'Ontario, de renseigner sur les recherches qui sont effectuées sur les coups de toit par d'autres organismes et d'autres pays et d'effectuer de la recherche fondamentale sur des méthodes de localisation des sources, des procédés de mesure de l'énergie sismique et les mécanismes à l'origine des coups de toit.

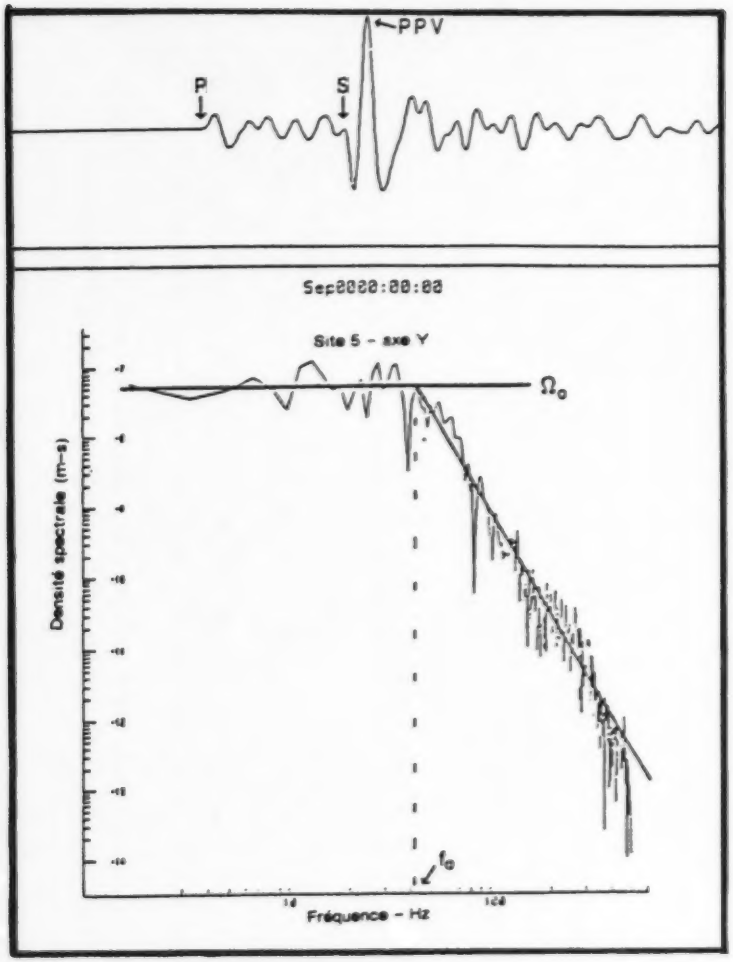
L'installation d'un nouveau système macrosismique comportant des capteurs triaxiaux et enregistrant des formes d'ondes complètes, a permis de mettre au point une méthode d'analyse standard fondée sur des techniques utilisées en sismologie.

On utilise à la fois des vélocimètres et des accéléromètres dans ces systèmes. Les données brutes provenant de ces systèmes sont d'abord intégrées pour obtenir la vitesse. La somme des vecteurs, vitesse maximale des particules, à chaque capteur triaxial, est obtenue à partir de ces formes d'onde. De plus, l'intégration du carré du signal de vitesse donne l'énergie sismique libérée. La direction du mouvement premier, vers la source ou dans le sens contraire, est aussi obtenue à partir de la forme d'onde de la vitesse.

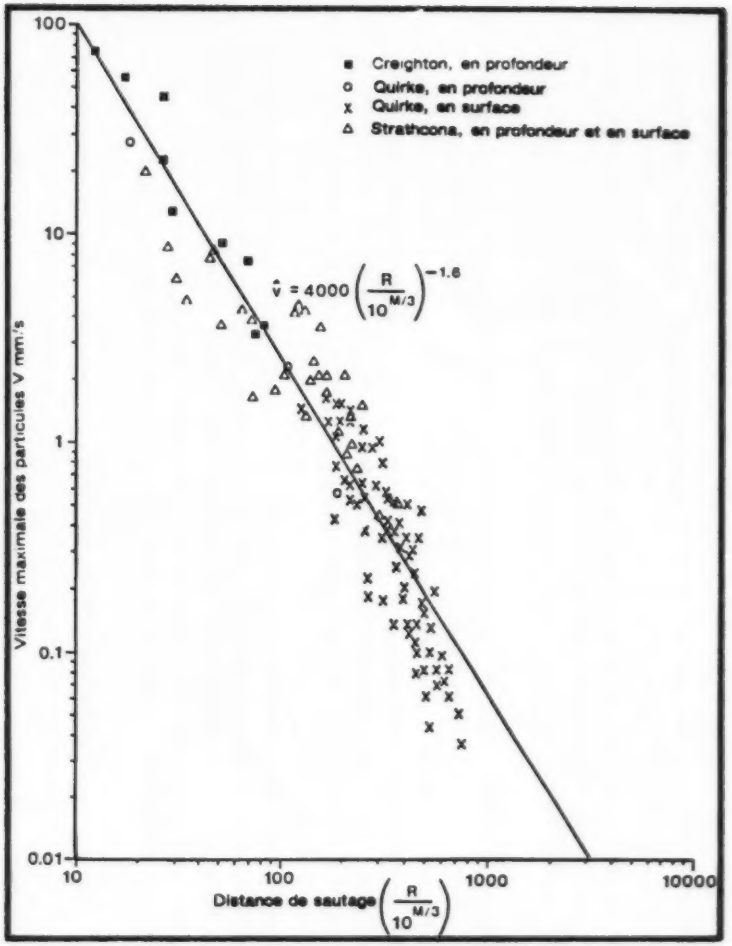
L'analyse passe ensuite du temps au domaine de fréquence. La densité spectrale de la forme d'onde de déplacement est tracée en fonction de la fréquence dans un format bilogarithmique. Deux paramètres importants sont obtenus à partir de ce graphique. Le plateau aux faibles fréquences est lié au moment sismique qui correspond à une mesure de l'importance et de la magnitude d'un événement sismique. La fréquence de coude, entre le plateau et la chute marquée de la densité spectrale aux hautes fréquences, est liée à l'importance de la source. Un simple modèle de faille circulaire est utilisé pour calculer le rayon du mouvement, la chute de contrainte et le glissement moyen. Tous ces paramètres sont recueillis par l'opérateur qui travaille interactivement avec l'ordinateur.

La vitesse maximale des particules des événements sismiques enregistrée aux mines Quirke, Creighton et Strathcona a été corrélée à la magnitude et à la distance de la source. Il existe une relation appropriée lorsqu'on recourt à un format de sautage courant avec un facteur de sautage à la racine cubique. La prévision de la vitesse maximale des particules est la première étape à franchir pour évaluer les dommages causés par les coups de toit.

La première analyse faisant intervenir les formes d'onde sismiques pour évaluer les paramètres de la source a été appliquée aux événements sismiques survenus aux mines Quirke et Denison. Les rapports entre l'énergie et la magnitude sismiques, pour les événements qui se produisent près du réseau de capteurs, concordent avec les données acquises en Afrique du Sud. Le rapport entre moment et magnitude sismiques est semblable à celui des séismes du Bouclier canadien. Les valeurs de chute des contraintes correspondent à celles obtenues ailleurs.



Forme d'onde typique avec densité spectrale du déplacement associé illustrant la vitesse maximale des particules, l'arrivée des zones P et S, le mouvement premier, la fréquence de coude et le plateau.



Vitesse maximale des particules par suite d'événements sismiques aux mines Quirke, Creighton et Strathcona. La vitesse des particules est représentée pertinemment en fonction de la racine cubique de la distance de sautage, en utilisant un format de sautage.

Une analyse historique des coups de toit et des recherches effectuées dans les mines de l'Ontario a été réalisée en 1987–1988. Durant les années 40, on a accompli des progrès considérables dans la compréhension des coups de toit et dans la mise au point de moyens pratiques pour résoudre ce problème. Il manquait les éléments-clés suivants : la présence de contraintes horizontales élevées, le changement de l'énergie potentielle dans le massif rocheux comme force motrice et le rejet de faille comme mécanisme de départ.

Plans de recherche 1988–1989

a) L'évaluation des données sur les formes d'onde causées par des coups de toit dans les mines de l'Ontario est encore au stade embryonnaire. Il reste à établir les liens qui existent entre les paramètres observés de la source dans d'autres régions du monde. Il en est de même de la cohérence, de la fiabilité et de l'utilité des données.

b) Quatre nouveaux chapitres du Manuel sur les coups de toit destinés aux mines canadiennes seront rédigés. Les questions traitées seront les techniques de relaxation, la sismologie des coups de toit, les systèmes de surveillance sismique et la prévision des coups de toit. Les sociétés Placer Dome, Lac Minerals, Inco et Falconbridge ainsi que CANMET participeront à ce projet. Le chapitre sur la prévision des coups de toit sera probablement rédigé à contrat.

REMERCIEMENTS

Nous sommes très reconnaissants envers la Denison Mines Ltée, la Falconbridge Ltée, l'Inco Ltée, Lac Minerals Ltée, Placer Dome Inc., et la Rio Algom Ltée d'avoir participé à la rédaction du présent document et d'avoir fourni des diagrammes et des photographies. Les fonds nécessaires à l'acquisition d'équipement et de services ont été versés par le ministère du Développement du Nord et des Mines de l'Ontario.

PUBLICATIONS

PAR LES ORGANISMES PARRAINS

Brehaut, C.H. et Hedley, D.G.F. Rapport annuel 1986-1987 du Project de recherche conjoint Canada-Ontario-Industrie sur les coups de toit, Rapport spécial de CANMET SP87-3F, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada,1987.

Davidge, G.R., "Rockburst Research at Falconbridge Limited"; Atelier sur les secousses sismiques provoquées par l'exploitation minière, Montréal, août 1987.

Hanson, D.S.G., Rochon, P. et Semadeni, T., "Seismic Monitoring Systems Being Used in the Canada/Ontario/Industry Rockburst Project"; Atelier sur les secousses sismiques provoquées par l'exploitation minière, Montréal, août 1987.

Hedley, D.G.F. et Udd, J.E., "The Canada/Ontario/Industry Rockburst Project"; Atelier sur les secousses sismiques provoquées par l'exploitation minière, Montréal, août 1987.

Hedley, D.G.F., "Rockbursts"; Proc. Seminar CANMET, Partenaire de l'industrie minière du Québec, Val d'Or, Québec, p. 94-117, février 1988. Rapport de division LRM 87-160(OP) E, 1987.

MacDonald, P. et Cochrane, L.B., "Research Related to Mining Induced Seismicity at Inco Limited"; Atelier sur les secousses sismiques provoquées par l'exploitation minière, Montréal, août 1987.

Makuch, T., "Rock Mechanics at Campbell Red Lake Mine"; Atelier sur les secousses sismiques provoquées par l'exploitation minière, Montréal, août 1987.

Niewiadomski, J., "Source location techniques for seismic activity in mines", Atelier sur les secousses sismiques provoquées par l'exploitation minière, Montreal, août 1987.

Oliver, P., Wiles, T., MacDonald, P. et O'Donnell, D., "Rockburst control measures at Inco's Creighton Mine"; 6e Conf. Ground Control in Mining, West Virginia, 1987.

Quesnel, W.J.F. et Hong, R., "Mining Induced Seismicity: Monitoring and Interpretation, Lac Minerals Ltée, Division Macassa"; Atelier sur les secousses sismiques provoquées par l'exploitation minière, Montréal, août 1987.

Rochon, P. et Hedley, D.G.F., "Magnitude Scaling of Seismic Events at Elliot Lake"; Rapport de division LRM 87-157(TR); CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1987.

Udd, J.E. et Hedley, D.G.F., "Rockburst Research in Canada - 1987, Proc. 6th Int. Rock Mech. Congr., vol. 2, p. 1283-1288, Montréal, 1987.

Bharti, S., Safe and Productive Mining at Depth - "A Strategic Approach Developed by Falconbridge"; Compte rendu du 2e Symp. Int. Rockbursts and Seismicity in Mines, Minneapolis, juin 1988.

Cochrane, L.B., "Control of Structural Geology on Rock Mass Failures"; Rock Mass Failures in Hardrock Mining Seminar, Université Laurentienne, Sudbury, juin 1988.

Davidge, G.R., Martin, T.A. et Steed, C.M., "Lacing Support Trial at Falconbridge Ltd., Strathcona Mine"; Compte rendu du 2e Symp. Int. Rockbursts and Seismicity in Mines, Minneapolis, juin 1988.

Hedley, D.G.F., "Historical Review of Rockbursts in Ontario Mines"; Rapport de division LRM 88-28(TR); CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1988.

Hedley, D.G.F., "Peak Particle Velocity for Rockbursts in Some Ontario Mines"; Compte rendu du 2e Symp. Int. Rockbursts and Seismicity in Mines, Minneapolis, juin 1988.

MacDonald, P., Wiles, T. et Villeneuve, T., "Rock Mechanics Aspects of Vertical Retreat Mining at 2000 m Depth at Creighton Mine"; CARE 88, University Newcastle-upon-Tyne, publié par IMM, London, 1988.

Makuch, T. et Blake, W., "Practical Application of Rock Mechanics and Mine Planning for Rockburst Control at Campbell Red Lake Mine"; Compte rendu du 2e Symp. Int. Rockbursts and Seismicity in Mines, Minneapolis, juin 1988.

Morrison, D.M., "Instabilities Induced by Fault Slip Mechanisms"; Séminaire, Rock Mass Failure in Hardrock Mining Université Laurentienne, Sudbury, juin 1988.

Morrison, D.M. et MacDonald, P., "Causes of Rockbursts in Inco Mines"; Compte rendu du 2e Symp. Int. Rockbursts and Seismicity in Mines, Minneapolis, juin 1988.

Plouffe, M., Cajka, M.G., Wetmiller, R.J. et Andrew, M.D., "The Sudbury Local Telemetered Seismograph Network"; Compte rendu du 2e Symp. Int. Rockbursts and Seismicity in Mines, Minneapolis, juin 1988.

Semadeni, T.J., Rochon, P. et Niewiadomski, J., "Waveform Analysis of Mine-Induced Seismic Events Recorded at Rio Algom's Quirke Mine"; Compte rendu du 2e Symp. Int. Rockbursts and Seismicity in Mines, Minneapolis, juin 1988.

Wetmiller, R.J., Plouffe, M., Cajka, M.G. et Hasegawa, H.S., "Investigation of Natural and Mining-Related Seismic Activity in Northern Ontario"; Compte rendu du 2e Symp. Int. Rockbursts and Seismicity in Mines, Minneapolis, juin 1988.

Wiles, T. et MacDonald, P., "Correlation of Modelling Results with Visual and Microseismic Monitoring at Creighton Mine"; Computers and Geotechnics, vol 5, N° 2, p. 105-122, 1988.

Autres rapports pertinents

Labuc, V. et Momoh, O.A., "The CANMET-Noranda Seismic Monitoring System Using Fibre Optic Signal Transmission"; Atelier sur les secousses sismiques provoquées par l'exploitation minière, Montréal, août 1987.

Labuc, V., Bawden, W. and Kitzinger, F., "Seismic Monitoring Using Fibre-Optic Signal Transmission"; Compte rendu du 6e congrès - Mécanique des roches, vol. 2, p. 1051-1056, Montréal, septembre 1987.

Semadeni, T.J., et Calder, P.N., "High Frequency Microseismic Monitoring Applied to the Determination of Stress Levels in Hard Rock Mines"; Compte rendu du 2e Symp. Int. Rockbursts and Seismicity in Mines, Minneapolis, juin 1988.

Tabebi. S. et Young, R.P., "Characterizing Microseismicity Associated with Stope Development"; 2e Symp. Int. Rockbursts and Seismicity in Mines, Minneapolis, juin 1988.

Young, R.P., Hutchins, D.A. et McGaughey, "Seismic Imaging Ahead of Mining in Rockburst Prone Ground"; 2e Symp. Int. Rockbursts and Seismicity in Mines, Minneapolis, juin 1988.

ANNEXES

ANNEXE A

Comité de gestion du Projet sur les coups de toit

C.H. Brehaut – Placer Dome Inc., Chairman
C. Barsotti – Inco Ltée
M. Musson – Falconbridge Ltée
J.B. Gammon – Ministère du Développement du Nord et des Mines de l'Ontario
P.V. Kivisto – Ministère du Travail de l'Ontario
M.D. Everell – Énergie, Mines et Ressources Canada
J.E. Udd – Énergie, Mines et Ressources Canada

ANNEXE B

Comité technique du Projet sur les coups de toit

D.G.F. Hedley – Énergie, Mines et Ressources Canada, président
C.G. Graham – Direction de la recherche minière, secrétaire
D. Ames – Ministère du Travail de l'Ontario
W.J. Logan – Ministère du Développement du Nord et des Mines de l'Ontario
P. MacDonald – Inco Ltée
A. Makurch – Placer Dome Inc.
S.N. Muppalaneni – Rio Algom Ltée
W.J.K. Quesnel – Lac Minerals Ltée
G. Swan – Falconbridge Ltée
P. Townsend – Denison Mines Ltée

ANNEXE C

Personnel d'Énergie, Mines et Ressources participant au projet

*M. J.E. Udd (Ph.D), directeur, Laboratoires de recherche minière, CANMET
M. D.G.F. Hedley (Ph.D), chercheur scientifique, LRM, CANMET
*B. Arjang, chercheur scientifique, LRM, CANMET
J. Niewiadomski, boursier post-doctoral, LRM, CANMET
P. Rochon, ingénieur en contrôle des terrains, LRM, CANMET
**D.S.G. Hanson, ingénieur en contrôle des terrains, LRM, CANMET
T. Semadeni, ingénieur en contrôle des terrains, LRM, CANMET
W. Ropchan, technicien en électronique, LRM, CANMET
D. Lebel, technicien en électronique, LRM, CANMET
M. Plouffe, sismologue, LRM, CANMET (rattaché à la Division de géophysique, Commission géologique du Canada)

*Temps partiel
**Maintenant à la Falconbridge Ltée

ANNEXE D

Équipement et services acquis en 1987-1988 (Les fonds proviennent du ministère du Développement du Nord et des Mines de l'Ontario)

Accessoires pour le système macrosismique de la mine Strathcona	32 810 $
Réseau microsismique dense pour la mine Creighton	113 000 $
Système macrosismique pour la mine Creighton	122,000 $
Ordinateurs et capteurs triaxiaux pour les enregistreurs de formes d'onde des mines Campbell et Macassa	90 650 $
Équipement électronique	4 200 $
Forage au diamant à la mine Quirke	60 000 $
Logiciels	12 000 $
Compte pour services divers en informatique	40 000 $
	474 660 $